



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Automotiva e Engenharia Eletrônica

**SISTEMA LUMINOSO AUTOMOTIVO INDICATIVO DE
INTENSIDADE DE FRENAGEM: PROJETO, DESENVOLVIMENTO E
AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL**

Autores: Mariana Pereira de Araújo e Victor Santos da Cruz
Orientadora: Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa
Coorientador: MSc. Danilo dos Santos Oliveira

Brasília, DF
2018



Mariana Pereira de Araújo e Victor Santos da Cruz

**SISTEMA LUMINOSO AUTOMOTIVO INDICATIVO DE INTENSIDADE DE
FRENAGEM: PROJETO, DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva e Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva e Engenharia Eletrônica.

Orientadora: Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa

Coorientador: MSc. Danilo dos Santos Oliveira

Brasília, DF

2018

CIP – Catalogação Internacional da Publicação *

MARIANA, P. A; VICTOR, S. C.

SISTEMA LUMINOSO AUTOMOTIVO INDICATIVO DE INTENSIDADE DE FRENAGEM: PROJETO, DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL/ Mariana Pereira de Araújo e Victor Santos da Cruz. Brasília: UnB, 2018. 32 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) - Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa.

1. Sistema de Freio. 2. Luz de Freio Automotivo. 3. Intensidade de Frenagem. I. ROSA, Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury. II. SISTEMA LUMINOSO AUTOMOTIVO INDICATIVO DE INTENSIDADE DE FRENAGEM: PROJETO, DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL.

CDU Classificação XXX



SISTEMA LUMINOSO AUTOMOTIVO INDICATIVO DE INTENSIDADE DE FRENAGEM: PROJETO, DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Mariana Pereira de Araújo e Victor Santos da Cruz

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva e Engenharia de Eletrônica da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 15/03/2018 apresentada, e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa, UnB/FGA
Orientador

MSc. Danilo dos Santos Oliveira, UnB/FGA
Coorientador

Dr. Mário Fabrício Rosa Fleury, UnB/ FCE, UnB/FGA
Membro Convidado

Nilson Eduardo Ferreira, UnB/ FGA, UnB/FGA
Membro Convidado

Guilherme dos Anjos Guimarães, UnB/ FGA, UnB/FGA
Membro Convidado

Thanyze Alice Vicentini Zoccoli, UnB/ FGA, UnB/FGA
Membro Convidado

Brasília, DF

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que tenho em minha vida e por todas as conquistas que obtive ao longo dela, sei que absolutamente Tudo se deve a Ele.

Gratidão ao meu esposo Felipe Pereira Domingos que é meu porto seguro, o apoio e consolo que me sustenta nos momentos difíceis e o sorriso que me acompanha nos momentos felizes, compartilhar minha vida com você é o maior presente de Deus, obrigada por me incentivar e me fazer feliz todos os dias. Você tem o dom especial e único de trazer paz ao meu coração, amo muito você.

Agradeço a toda minha família, ao meu pai Deijaval Pereira da Silva e à minha preciosa mãe Maria Áurea Ribeiro de Araújo Pereira que não pouparam esforços para minha formação pessoal e profissional, aos senhores minha eterna gratidão por me guiarem até aqui, pelos ensinamentos da vida e por me mostrarem a importância do aprendizado. Mãe, obrigada pelas orações e por me mostrar que sem Deus não faz sentido a caminhada, com a intercessão de Nossa Senhora Ele esteve comigo em cada instante.

Aos meus irmãos Deijaval Filho e Marina, companheiros de caminhada, a vida longe dos nossos não foi fácil, mas chegamos onde almejamos porque pudemos estar juntos. Que venham os novos desafios. Amo todos vocês.

Agradeço à minha orientadora professora Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa por todo o conhecimento compartilhado, pela paciência, sabedoria e amor com que tudo faz. A admiro muito, não somente pela educadora de excelência, mas principalmente pelo ser humano que és. Foi uma honra tê-la como orientadora.

Um agradecimento especial ao meu coorientador professor Danilo dos Santos Oliveira que me guiou em cada passo deste trabalho. Obrigada pela prontidão, pela paciência, pelo zelo, obrigada por partilhar tanto conhecimento e tanto do seu tempo comigo. Eu sempre soube que não teria palavras para agradecê-lo.

A todos os professores, colegas, amigos e familiares que acreditaram e intercederam por mim, muito obrigada.

*“Nada te perturbe. Nada te espante.
Tudo passa. Só Deus permanece.
A paciência tudo alcança.
Quem a Deus tem, nada lhe falta:
Só Deus basta!*
*Eleva o pensamento. Ao céu sobe.
Por nada te angusties. Nada te perturbe.
A Jesus Cristo segue com grande entrega
e, venha o que vier, Nada te espante.
Vês a glória do mundo? É glória vã;
Nada tem de estável, Tudo passa.
Deseje as coisas celestes, que sempre duram;
Fiel e rico em promessas, Deus não muda.
Ama-o como merece, Bondade Imensa;
Quem a Deus tem, mesmo que passe por momentos difíceis,
sendo Deus o seu tesouro, Nada lhe falta.
SÓ DEUS BASTA!”*

Santa Teresa D'Ávila

RESUMO

O sistema de freio automotivo tem vital importância no desempenho seguro dos veículos. Para sinalizar seu acionamento, ele possui um sistema luminoso que indica, para quem está atrás, que o veículo está freando ou está parado. No entanto, apesar da evolução tecnológica dos sistemas envolvidos, o índice de acidentes do tipo colisão traseira é o maior em todo o Brasil. Dentre os prováveis fatores responsáveis pelo alto índice, pode-se atribuí-lo também à falta de informações sobre as ações do motorista à frente. Este trabalho propõe um sistema luminoso automotivo indicativo de intensidade de frenagem inédito que se diferencia por informar as ações de frenagem de forma gradativa, mediante dispositivos luminosos acionados sequencialmente. Seu principal objetivo é informar as ações de frenagem através de um painel luminoso. Luzes indicativas acusarão se o carro está reduzindo muito ou pouco sua velocidade, pois acenderão proporcionalmente ao que está ocorrendo. Desta forma, uma bancada experimental multidisciplinar foi desenvolvida para simular tais ações de frenagem. Utilizando um sensor acoplado a um pedal de freio e associando seus dados angulares a velocidades simuladas do veículo foi possível alterar o estado dos indicadores luminosos de forma gradativa à medida que o pedal é solicitado. O desempenho do módulo acelerômetro e giroscópio utilizado foi eficaz, pois forneceu dados com boa acurácia e estabilidade. Assim, o trabalho alcançou seu propósito fornecendo através de um painel luminoso informações mais detalhadas sobre a desaceleração de um veículo. Concluiu-se que esse sistema desenvolvido é bastante útil e pode contribuir na redução do índice de acidentes automotivos do tipo colisão traseira.

Palavras-chave: Sistema de Freio. Luz de Freio Automotivo. Intensidade de Frenagem. Plataforma de Prototipagem Eletrônica. Acelerômetro - Giroscópio.

ABSTRACT

The automotive brake system has vital importance in the safe performance of vehicles. To represent its drive activation, it has a light system that indicates to those behind you that the vehicle is braking or stationary. However, despite the technological evolution of the systems involved, the accident rate of the rear-impact type is the largest in Brazil. Among the probable factors responsible for the high index, it can also be attributed to the lack of information about the actions of the driver ahead. This work proposes an automotive light system indicative of unprecedented braking intensity, which differentiates itself by informing the braking actions in a gradual way, through sequentially activated light devices. Its main objective is to inform the braking actions through a light panel. Indicator lights will accent if the car is reducing its speed too much or too little because it will light up proportionally to what is happening. Thus, a multidisciplinary experimental bench was developed to simulate such braking actions. Using a sensor connected to a brake pedal and associating its angular values at simulated vehicle speeds, it was possible to change the status of the indicator lights gradually as the pedal is requested. The performance of the accelerometer and gyroscope module used was effective as it provided data with good accuracy and stability. Therefore, the work has achieved its purpose by providing more detailed information on the deceleration of the vehicle through a light panel. It was concluded that this developed system is very useful and can contribute reducing the index of automobile rear-collision accidents.

Key-words: Brake System. Automotive Brake Light. Braking Intensity. Electronic Prototyping Platform. Accelerometer - Gyroscope.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	HIPÓTESE	4
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.3	APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1	SISTEMA DE FRENAGEM AUTOMOTIVA	6
2.1.1	Evolução dos Freios	6
2.1.2	Definições e princípios de funcionamento do sistema de freio	8
2.1.3	Descrição dos principais componentes do sistema de freio	8
2.1.3.1	Pedal de freio	8
2.1.3.2	Servo freio a vácuo	9
2.1.3.3	Cilindro mestre / Reservatório de fluido de freio	9
2.1.4	Principais tipos de freios automotivos	10
2.1.4.1	Freio a tambor	10
2.1.4.2	Freio a disco	10
2.1.5	Sistemas eletrônicos que atuam junto ao processo de frenagem	11
2.1.5.1	<i>Anti-Lock Braking System (ABS)</i>	11
2.1.5.2	<i>Electronic Brake Force Distribution (EBD)</i>	12
2.1.5.3	<i>Electronic Stabilization Program (ESP)</i>	12
2.2	PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ELETRÔNICA	12
2.2.1	Giroscópio	12
2.2.2	Diodo Emissor de Luz	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1	NORMAS	15
3.2	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO MECÂNICOS	15
3.3	DISPOSITIVOS E CIRCUITOS ELETRÔNICOS	17
3.3.1	Arduino e Sensor GY-521	17
3.3.2	Painel de LEDs	19
3.3.3	Monitor LCD	20
3.3.4	Procedimento de calibração do sensor	21
3.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	22
4	RESULTADOS E ANÁLISES	23
4.1	AJUSTES INICIAIS	23
4.2	RESULTADOS	23
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	28

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
--------------------------------------	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estatística de acidentes veiculares por tipo e gravidade	2
Figura 2 – Pedal de Freio	8
Figura 3 – Servo Freio a Vácuo	9
Figura 4 – Cilindro Mestre	9
Figura 5 – Freio a Tambor	10
Figura 6 – Freio a Disco	11
Figura 7 – Giroscópio	13
Figura 8 – Mola de Tração Helicoidal	16
Figura 9 – Suporte para fixação da mola	17
Figura 10 – Esquemático de ligação do módulo <i>GY – 521</i> no <i>Arduino Mega 2560</i>	17
Figura 11 – Suporte para <i>Arduino</i>	18
Figura 12 – Circuito Elétrico	19
Figura 13 – Painel de LEDs	19
Figura 14 – Monitor LCD	20
Figura 15 – Representação da fixação do sensor ao Goniômetro	21
Figura 16 – Calibração angular do sensor <i>MPU 6050</i>	22
Figura 17 – Tampo Vertical da bancada com pedal de freio	23
Figura 18 – Pedal de Freio com sensores	24
Figura 19 – Sistema Eletrônico na bancada	25
Figura 20 – Compartimento desenvolvido para seleção de diferentes velocidades	25
Figura 21 – Ensaio de correlação entre velocidades simuladas e posição angular do pedal de freio.	26
Figura 22 – Bancada Completa	27

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de locomoção humana é fundamental para a evolução dos meios de transportes, desde as longas caminhadas, evoluindo para o transporte de tração animal, até o desenvolvimento de máquinas e dispositivos para tal finalidade, sempre em busca de mais mobilidade, segurança, agilidade e conforto.

Os meios de transportes podem ser divididos basicamente em três vertentes: terrestres, aquáticos e aéreos (TORRE, 2002; SANTOS, 2017). Dada sua importância no meio terrestre, o automóvel, seja ele de passeio, ou de uso coletivo, necessita de especial atenção e cuidado por ser o meio de transporte mais utilizado pela população (STEG; GIFFORD, 2007).

Com o crescimento do ramo automotivo e crescente desempenho dos veículos, a importância de se ter componentes que acompanhassem tal evolução originou o estudo mais aprofundado em diversas áreas automotivas, inclusive a do processo de frenagem, sistema responsável pela desaceleração do veículo.

Inicialmente, o sistema precário de freio foi motivo de diversos acidentes, sua evolução ao longo dos séculos originou o que hoje é conhecido como freio a tambor e freio a disco (VIEIRA, 2009). Com os avanços em relação aos modelos iniciais do automóvel e consequente aumento da velocidade foi necessário melhorar a interface entre a máquina e o homem. O primeiro dispositivo desenvolvido para facilitar a percepção do motorista e diminuir seu tempo de reação foram as luzes de freio, que passaram a ser instaladas em 1927, nos EUA. Essa forma de avisar o motorista de trás que o carro da frente está reduzindo a velocidade foi reforçada há pouco tempo com a adoção da lanterna de freio elevada, conhecida no Brasil pelo nome de *Brake Light* (VIEIRA et al., 1999).

Dada importância de tal comunicação entre máquina e condutor, foi estabelecida a RESOLUÇÃO Nº 227 (CONTRAN, 2007) e, posteriormente, a RESOLUÇÃO Nº 667 (CONTRAN, 2017) que estabelecem requisitos referentes aos sistemas de iluminação e sinalização de veículos. O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO - CONTRAN - usando a competência que lhe confere, obriga mediante estas, a existência da *Brake Light* nos veículos, de forma que se torne mais visível a luz de freio, e assim, mais acidentes sejam evitados, principalmente os de colisão traseira.

Porém, ainda ocorrem muitos acidentes desse tipo, um levantamento feito entre os anos 2010 e 2014, pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF) (PRF, 2015), revela que o índice de acidentes por colisão traseira é o maior em quase todos os estados brasileiros, sendo assim, o primeiro colocado no quadro geral do país, chegando a ter pouco menos que o dobro de pontos percentuais em relação ao segundo cotado (PRF, 2015; DNIT, 2016), como apresentado na Figura (1).

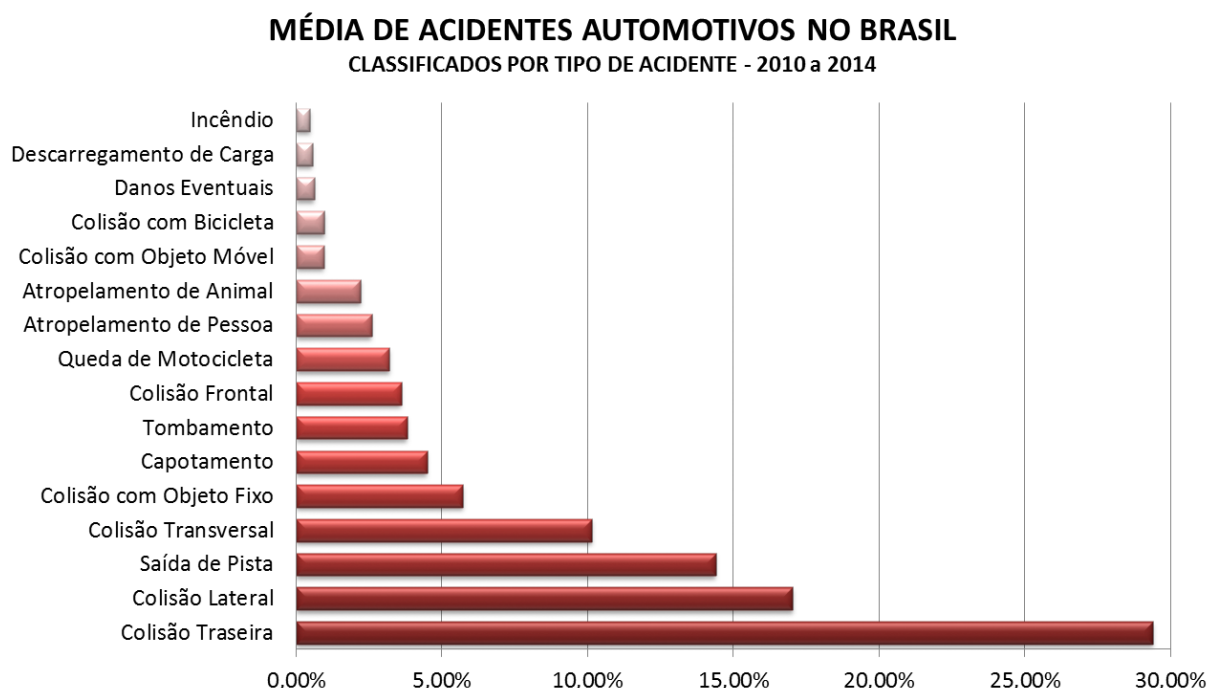


Figura 1 – Estatística de acidentes veiculares classificados por tipo. Autoria Própria.

O altíssimo índice de acidentes por colisões traseiras pode ser decorrente de diversos fatores, muitos deles falhas humanas como: imprudência, desatenção, sonolência, embriaguez, entre outros. Mas, diversas vezes é devido às limitadas informações em relação às ações dos veículos à frente, uma deficiente leitura se o veículo adiante está reduzindo mais do que o esperado ou do que se pode observar, pode ser um dos principais fatores responsáveis pelo alto índice. Alguns exemplos:

- Um veículo diante de um redutor de velocidade quando seu condutor se confunde com o limite permitido da via e os demais condutores atrás não esperam que a frenagem seja tão intensa. Uma via de 80 km/h e o condutor acha que é de 60 km/h, ao acionar o pedal, as luzes de freio em condições normais, estarão acesas, mas não haverá informações sobre o quanto se está freando;
- Se o condutor à frente avistou um obstáculo que os que seguem atrás são impossibilitados de ver, então o que parece ser uma simples frenagem é na verdade intensa, as luzes de freio, em condições normais, estarão acesas, mas não haverá informações sobre o quanto se está freando;
- Se alguém adentrou uma faixa de pedestres, mas os veículos atrás, mesmo notando a luz indicativa de frenagem, não percebem que terão que frear até uma possível parada;
- Se o veículo à frente reduz para fazer um retorno em uma avenida, porém não sinaliza corretamente com as luzes indicadoras de direção (setas), portanto a frenagem intensa não é esperada e não é possível visualmente observar a intensa redução;

- Ou mesmo diante de uma frenagem brusca de emergência, não se tem informações de que a mesma esteja ocorrendo e o tempo de reação dos demais condutores é em um espaço de tempo muito maior do que poderia ser se visualmente essa informação fosse transmitida.

Tais acidentes podem ocorrer porque, mesmo notando a luz indicativa de frenagem, os condutores não conseguem perceber a intensidade de frenagem do veículo à frente. Então, em determinado momento não é mais possível evitar a colisão.

Com a evolução do sistema de freio, sistemas eletro-eletrônicos surgiram para assessorar e tornar mais eficiente o processo de frenagem. Além desse auxílio, importantíssimo para um maior controle sobre o automóvel durante uma situação de emergência, é também necessário informar aos demais motoristas que trafegam na pista o que está acontecendo. Desta forma, também houve significativa evolução no sistema luminoso de frenagem.

Carros mais modernos podem oferecer sistemas de alertas luminosos para frenagens de emergência, é um exemplo o sistema da *Bayerische Motoren Werke* (BMW), as luzes de freio começam a piscar a uma frequência de 5 Hz diante de uma desaceleração brusca, tal sistema é acionado quando o veículo trafega a uma velocidade acima de 50 km/h e inicia uma frenagem de emergência. Ao chegar a uma velocidade já bastante reduzida, cerca de 14 km/h, acendem automaticamente o pisca-alerta e o novo sistema se mantém aceso até o veículo voltar a acelerar e atingir 20 km/h, o sistema é conhecido como *Dynamic Brake Light* (Luz Dinâmica de Freio), inicialmente oferecido em carros e mais recentemente, em 2016, apresentado em séries de motocicletas da fabricante alemã (BMW-MOTORRAD, 2017).

Nota-se que do sistema comum, o qual simplesmente acendem as luzes de freio, até um sistema inteligente, como o citado *Dynamic Brake Light*, houve uma significativa evolução que auxilia durante uma frenagem de emergência. Diferentemente dos dois sistemas citados, este trabalho propõe um sistema indicativo de intensidade de frenagem, o qual busca informar as ações de frenagem, independente de quais sejam, emergenciais ou não. Um sistema em que as luzes se acendem e apagam gradativamente à medida que o sistema de freio é solicitado, desta forma, é possível fornecer informações mais detalhadas aos condutores, buscando suprir situações em que não necessariamente ocorram frenagens bruscas.

Deve ficar claro que este trabalho não auxilia apenas em situações em que há uma redução progressiva ou intensa, auxilia também em momentos em que o freio é pouco solicitado e a velocidade é pouco reduzida, acendendo menos LEDs (*Light Emitting Diode* ou Diodo Emissor de Luz). Desta forma, o objetivo deste é simplesmente fornecer melhores informações sobre a frenagem. Alerta-se ainda que não é um sistema que visa substituir o já existente, mas sim complementá-lo.

Para tanto, o trabalho desenvolvido é multidisciplinar integrado que agrega os sistemas automotivo mecânico e eletrônico. Referente ao sistema automotivo mecânico, uma bancada de simulação e testes é montada de forma a simular a aplicação de diferentes forças a um pedal

de freio, provocando-lhe deslocamentos variados. O sistema eletrônico é responsável pela leitura destes deslocamentos, emitindo assim informações lógicas, que combinadas a velocidades simuladas do veículo, resultam em sequências de sinais luminosos instantâneos.

1.1 HIPÓTESE

É possível projetar, desenvolver e testar um sistema indicativo de intensidade de frenagem automotiva por incremento de sinais luminosos.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e testar um sistema indicativo de intensidade de frenagem automotiva por incremento de sinais luminosos. Para tanto, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Projetar uma bancada de simulação de frenagem;
- Manufatura da bancada de ensaio;
- Projeto e dimensionamento de um circuito eletrônico para incremento de sinais luminosos;
- Integração interdisciplinar (eletromecânica - automotiva e eletrônica).

1.3 APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO

O trabalho se divide em cinco capítulos.

O segundo capítulo começa descrevendo a história e evolução do freio, começando pela invenção da roda, passando pela criação do primeiro veículo autopropelido a vapor até os dias de hoje. Segue definindo o sistema de freio automotivo e seu princípio de funcionamento. Descreve os componentes do sistema de freio e evidencia as diferenças entre os principais tipos de freio. Neste capítulo ainda são citados os principais sistemas eletrônicos que atuam junto ao sistema de freio fornecendo-lhe mais eficiência e dirigibilidade. Por fim, aborda sobre plataformas de prototipagem eletrônica, giroscópio e LED's.

O terceiro capítulo expõe as normas estudadas e respeitadas neste trabalho e descreve o processo de fabricação mecânico. Relata os materiais escolhidos e detalha a adaptação do pedal e sua inserção na bancada. Em seguida, o mesmo é feito para o sistema eletrônico, citando quais os componentes selecionados, sua montagem e apresentando as lógicas desenvolvidas e utilizadas. Expõe ainda a metodologia utilizada para processos de calibrações e, por fim, indica o procedimento experimental para utilização e testes da bancada.

No quarto capítulo são apresentados os resultados da integração dos sistemas e montagem da bancada, as respostas dos componentes eletrônicos, a alimentação necessária para utilização da bancada e o levantamento de dados obtidos ao efetuar diversos testes de correlação entre a velocidade simulada do veículo e o ângulo do pedal de freio.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho e as sugestões de possíveis trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMA DE FRENAGEM AUTOMOTIVA

2.1.1 Evolução dos Freios

Considerada por alguns como a maior invenção de todos os tempos, a invenção da roda se compara à do fogo por sua grande contribuição no desenvolvimento humano. Com sua limitada força, o homem passara a usar, como rolamento, troncos de árvores sob tábuas para deslocamento de cargas. Com o tempo observou-se que era possível diminuir o tamanho dos troncos chegando, desta forma, a grandes discos de madeira que sabiamente foram conectados por um eixo, colocando-os lado a lado. Trabalhando o mesmo formato, foram feitas também rodas de pedras, extremamente pesadas, de difícil manuseio. No entanto, ao longo de anos, tiveram tamanhos e, conseqüentemente, pesos reduzidos (VIEIRA, 2009).

Como as primeiras rodas deixavam a desejar em durabilidade e conforto, o homem aos poucos reveste seu perímetro com uma madeira mais resistente, uma tira de metal, e por fim, encontra mais conforto no couro, por sua maciez. O que mais tarde deu lugar à borracha maciça e, posteriormente, ao pneumático. Comumente tracionadas pela própria força física humana ou por animais domesticados, as rodas recebem então raios unidos ao centro, diminuindo ainda mais o peso. O uso de cavalos nos meios de transporte se tornava cada vez mais comum, as conduções por eles guiadas chegavam a atingir a velocidade de 10 km/h (VIEIRA, 2009).

Após milhares de anos utilizando e aprimorando carros de boi, bigas, vagonetas, carroças, veículo à vela, cupês, carruagens, entre outros, surgem então durante os séculos XVII e XVIII os primeiros motores. Mas somente em 1769, o engenheiro militar francês Nicholas Joseph Cugnot apresenta publicamente o primeiro veículo autopropelido a vapor, conhecido como *Fardier*, como o próprio nome diz, carro para transportar cargas pesadas. Com uma precária distribuição de pesos e com transmissão realizada por catracas chegava a andar entre 3 e 4 km/h, protagonizando além do primeiro carro a se movimentar sozinho, também o primeiro acidente automotor da história que, sem freio, colide com um muro de pedras (VIEIRA, 2009). Nas carruagens, para parar, o cavalo era puxado para trás. E quando não existem mais cavalos? Começa-se a pensar então no freio, objeto de estudo deste.

Ainda no dito *Fardier*, em 1771, após sofrer modificações, foi instalado também um pedal que, ao ser pressionado, acionava um braço de ferro com intuito de o mesmo entrar entre os raios da roda, travando-a. Esquema rudimentar que logicamente não deu certo por não respeitar as condições temporais e físicas da roda (VIEIRA, 2009). E se assim fosse feito, desencadearia um dos grandes problemas hoje já resolvido, o travamento da roda.

Passaram então a construir simples dispositivos mecânicos compostos por uma alavanca

com um ponto de giro e com uma “sapata” de madeira na ponta. A alavanca funcionava aumentando o torque e ao encostar a madeira na roda o veículo diminuía a velocidade até parar.

Com o tempo foram feitos os *Band Brake*, freios de cinta, cinta esta que era colocada ao redor de uma roda presa no centro do eixo traseiro e acionada manualmente através de alavanca. A cinta era feita de couro, material que gerasse atrito, mas em função da alta temperatura produzida pelo contato, o couro ia perdendo suas características e consequentemente sua função. Desta forma, foram utilizados: cabelo, crina, tecido umedecido em betumem, entre outros (VIEIRA, 2009; FUJII et al., 2002).

Além de atuar nas rodas, os freios também passaram a ser colocados para atuarem diretamente nos eixos de transmissões, que além de auxiliar na parada do automóvel, era utilizado como freio de estacionamento. Em 1875, o maior ônibus da época, Stephenson, era freado por parafusos de rosca sem fim. Em 1885 o *Benz Velo* se torna o primeiro veículo com freio de mão, ainda com sistema *Band Brake*.

Édouard Michelin, em maio de 1899 se dedica à produção de, entre outros, sapatas de freios com nome *The Silent*. Sapatas estas que substituíam as de madeira, sendo fabricadas de borracha tornando-se de fato muito mais silenciosas (VIEIRA, 2009).

Com o passar do tempo, a evolução dos motores e seus progressivos desempenhos aumentaram as velocidades médias dos veículos e, consequentemente, desencadearam diversas outras preocupações, sendo uma das principais: o sistema de freio.

Sendo necessário também evoluir para acompanhar os veículos, foi inventado em 1902 pelo francês Louis Renault o Freio a Tambor. Como os demais sistemas eram abertos, apresentavam problemas, pois ficavam expostos e assim sujeitos à interferência de terra, água, contaminações que afetavam seu desempenho. Porém, o novo sistema proposto pelo francês se tratava de um sistema fechado, acionado por alavancas, hastes ou mesmo varões (cabos). O sistema fechado permitia que os componentes permanecessem mais limpos, eliminando os problemas anteriores, no entanto, acarretando um novo, a pouca ventilação causara o sobreaquecimento. Posteriormente, meados de 1930, os freios a tambor começaram a ser acionados por pressão de óleo, dando início ao freio hidráulico (VIEIRA, 2009).

Logo após o surgimento do freio a tambor, em 1903, foi patenteado pelo inglês Doutor Frederick W. Lanchester o freio a disco, o qual o disco é pinçado entre duas pastilhas. A brilhante idéia do sistema de freio foi tirada da bicicleta, inicialmente desenhada por Leonardo da Vinci ainda em 1490, e posteriormente idealizada pelos ingleses Browett e Harrison em 1876. Após a patente passou a ser chamado de Caliper Brake (VIEIRA, 2009).

Desde então os freios a tambor e a disco passaram por evoluções e se tornaram os principais tipos de freios até os dias de hoje.

2.1.2 Definições e princípios de funcionamento do sistema de freio

Define-se o sistema de freio automotivo como o conjunto de componentes que têm por objetivo reduzir ou manter a velocidade de um veículo, pará-lo e/ou conservá-lo imóvel. Os elementos do sistema de frenagem trabalham a fim de atender às necessidades do motorista de forma gradual ou imediata levando, ou não, o veículo à imobilidade (BOSCH, 2014).

O ajuste constante da velocidade de um veículo motorizado é de fundamental importância para se adaptar ao tráfego das vias. Os sistemas de frenagem, direção e suspensão são os mais importantes na segurança e prevenção de acidentes de um veículo automotor. Independentemente das condições em que se encontram, eles devem atuar de maneira segura, segundo seu propósito (LIMPERT, 1992).

O princípio de funcionamento do sistema de freio trata-se basicamente da transformação da energia cinética e potencial (se houver) em energia térmica proveniente do atrito causado entre um agente de frenagem do veículo (não rotativo) e um componente fixo à roda, seja ele o disco ou o tambor. Esse processo é acionado pelo pedal de freio e transmitido pneumaticamente ou hidraulicamente pelo sistema (LIMPERT, 1992; BOSCH, 2014).

2.1.3 Descrição dos principais componentes do sistema de freio

2.1.3.1 Pedal de freio

O pedal de freio é o meio pelo qual o condutor aciona o sistema. Trata-se de uma haste com um ponto de acionamento, um ponto rotacional na extremidade oposta e um ponto de conexão com o próximo componente: servo freio. Quando o condutor aciona o pedal de freio, impondo-lhe uma força, a mesma é automaticamente multiplicada pelo torque que o próprio eixo do pedal proporciona.



Figura 2 – Pedal de Freio. Fonte (WILWOOD, 2014).

2.1.3.2 Servo freio a vácuo

A força resultante no pedal é transmitida ao servo freio, este por sua vez controla a entrada de pressão em um dos lados do diafragma, enquanto o outro lado do diafragma é submetido a uma pressão negativa (menor que a pressão atmosférica). A diferença de pressão no diafragma gera uma força complementar à força aplicada no pedal. Cada projeto determina o grau de amplificação de seu sistema. Essa combinação de forças amplificadas é transmitida ao cilindro mestre.



Figura 3 – **Servo Freio a Vácuo** Fonte: (DURALAST, 2018).

2.1.3.3 Cilindro mestre / Reservatório de fluido de freio

O cilindro mestre pode ser composto por até dois compartimentos que são conectados ao reservatório de fluido de freio para evitar que falte fluido por desgaste, vazamento ou qualquer outro motivo. Desta forma, quando o freio não está acionado, o reservatório compensa o nível dentro dos cilindros. Os fluidos de freio são líquidos sintéticos, não agressivos à borracha e incompressíveis, evitando assim perdas de pressão, o que comprometeria a segurança e eficiência do sistema. A força advinda do servo freio empurra os êmbolos do cilindro mestre vedando as passagens de fluido do reservatório, gerando assim uma pressão em todos os ductos que levam o fluido aos sistemas presentes nas rodas, sejam eles a tambor ou a disco. Ambos diferem entre si pela forma com que a pressão é transmitida para as rodas, causando sua desaceleração.



Figura 4 – **Cilindro Mestre com Reservatório de Fluido de Freio**. Fonte (WILWOOD, 2016).

2.1.4 Principais tipos de freios automotivos

Os principais tipos de freios automotivos são os freios a tambor e freios a disco. O sistema é o mesmo para os dois tipos de freio, até chegar à roda, onde se diferem pela forma como transmitem a resistência à mesma. Ambos usam princípios idênticos para gerar a força de frenagem: elementos fixos, como as sapatas (tambor) ou as pastilhas (disco), são pressionados contra um elemento rotatório, a força de atrito resultante é responsável por reduzir a velocidade (HOHMANN et al., 1999).

2.1.4.1 Freio a tambor

Os freios a tambor, Figura (5), têm como principais componentes: cilindro de roda, sapatas, lonas de freio, tambor e molas de retorno. O acionamento do freio acarreta no deslocamento do cilindro de roda, responsável por transmitir a solicitação para as sapatas, iniciando seu deslocamento. As sapatas são arcos fabricados de material resistente nas quais ficam presas as lonas, elas são internas ao tambor. Ao serem acionadas distanciam entre si até tocarem a parte interna do tambor, causando o atrito que é responsável pela frenagem. Quando liberado o pedal de freio, as sapatas se reaproximam graças às molas de retorno (DIULGHEROGLO, 2008).

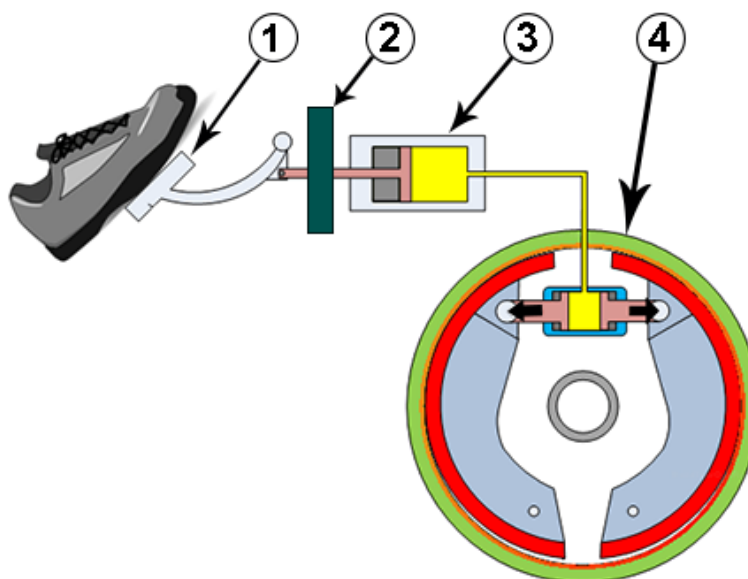


Figura 5 – **Freio a Tambor**. O desenho esquemático representa o sistema de freio a tambor acionado hidraulicamente. (1) Pedal de Freio; (2) Servo Freio a Vácuo; (3) Cilindro Mestre; (4) Roda com sistema de Freio a Tambor. Adaptada de (BYORC, 2017).

2.1.4.2 Freio a disco

Os freios a disco, Figura (6), são compostos por pinça fixa ou flutuante, pastilha de freio, pistão, disco de freio, carcaça e suporte. Quando o pedal é acionado e o fluido de freio pressionado, o êmbolo presente nas rodas é empurrado e por sua vez, aciona a pinça fazendo com que as pastilhas entrem em contato com o disco. No caso da pinça fixa, são dois pistões que

ao mesmo tempo movem as duas pastilhas responsáveis pelo atrito que resulta na frenagem. Já na pinça flutuante há apenas um êmbolo que empurra uma pastilha e esta, ao entrar em contato com o disco, começa a deslocar a segunda pastilha (HALDERMAN; MITCHELL, 2016).

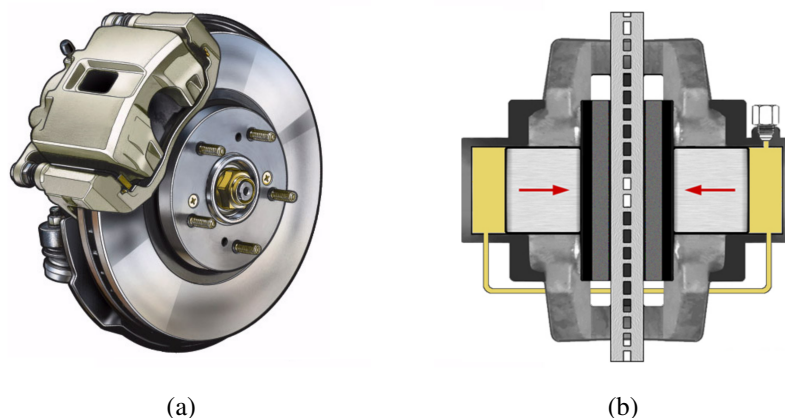


Figura 6 – **Freio a Disco**. Em (6a) tem-se a vista isométrica de um sistema de freio a disco e em (6b) tem-se a vista lateral onde está representado o sentido de deslocamento das pastilhas responsáveis pelo atrito com o disco. Adaptadas de (DIAS, 2016; KHULSEY, 2017).

Os freios a disco, hoje em dia, já são usados nas rodas traseiras e dianteiras, pois esses têm grandes vantagens em relação aos freios a tambor, porém, devido ao seu custo mais elevado, é comumente usado apenas nas rodas dianteiras, onde é exigido mais durante a frenagem.

2.1.5 Sistemas eletrônicos que atuam junto ao processo de frenagem

Com a diversidade tecnológica atribuída aos meios de transportes nas últimas décadas, a segurança automotiva foi uma das principais preocupações dos engenheiros do ramo. Assim, o sistema de freio automotivo foi otimizado com sistemas eletroeletrônicos que tornam o processo de frenagem mais eficiente, melhoram a dirigibilidade e fornecem ao condutor mais estabilidade e controle sobre seu veículo. Dentre outros, os mais conhecidos são ABS, EBD e ESP.

2.1.5.1 *Anti-Lock Braking System (ABS)*

Diante de freadas bruscas que travariam as rodas, sensores nelas colocados enviam informações à unidade de controle eletrônico, que processa os sinais e imediatamente envia as informações aos atuadores que fazem com que as pinças de freio abram e fechem diversas vezes por segundo, evitando que as rodas travem e se perca a dirigibilidade do veículo.

Como o próprio nome diz, é um sistema antitravamento que reduz o espaço de frenagem e evita que o carro derrape perdendo o controle. É tão eficiente que se tornou componente obrigatório dos veículos, mediante a RESOLUÇÃO Nº 380, de 28 de abril de 2011 (CONTRAN, 2011).

2.1.5.2 *Electronic Brake Force Distribution* (EBD)

Componente eletrônico que atua como um subsistema do ABS e tem como função um controle efetivo do atrito do pneu com o solo em busca da melhor adesão e distribuição ideal de força em situação de emergência.

O EBD trabalha a intensidade de potência de frenagem aplicada em cada eixo de forma independente, observando distribuições de peso no veículo e fornecendo maior controle e estabilidade, por exemplo, em frenagens feitas em curvas.

2.1.5.3 *Electronic Stabilization Program* (ESP)

Sensores no sistema de direção e suspensão junto aos dados fornecidos pela ECU geram informações ao ESP (Programa de Estabilização Eletrônica) que em milésimos de segundos reconhece uma situação de risco e reage rapidamente enviando a correção a uma ou mais rodas. Essa correção se dá freando a roda correta, corrigindo assim o curso do veículo que estaria sem controle.

Em situações de emergência em que há um desvio rápido na direção do veículo, uma brusca mudança nas condições físicas da pista, aquaplanagem ou qualquer situação que levaria o automóvel a uma derrapagem é controlada e devidamente corrigida pelo Programa de Estabilização Eletrônica.

2.2 PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ELETRÔNICA

Para facilitar o desenvolvimento de sistemas utilizando microcontroladores, eles normalmente são acoplados a plataformas de prototipagem, como é o caso do Arduino, do Mbed, do BeagleBone Black, entre outros. Muitas plataformas de prototipagem eletrônica possuem um bom poder de processamento e recursos que permitem a implementação desde aplicações didáticas simples até projetos de pequeno e médio porte. Essas plataformas oferecem não somente o microcontrolador, mas também outros componentes para realizar a interface com computadores (como portas USB, Ethernet, RS-232, etc.), componentes de microeletrônica básicos (LEDs e botões), além de outros dispositivos de entrada e saída (PEIXOTO et al.,).

2.2.1 **Giroscópio**

Baseado na primeira Lei de Newton sobre a inércia, o giroscópio é um instrumento muito utilizado em aeronaves, embarcações, instrumentos de navegação, jogos e equipamentos eletrônicos, como o próprio celular. Fundamentado no fenômeno físico conhecido como precessão, o giroscópio quando em movimento rotacional, tende a manter o mesmo ponto de apoio, impressionando pela estabilidade e equilíbrio apresentados.

O movimento realizado pelo eixo rotativo do giroscópio ilustra o comportamento do próprio planeta Terra no espaço. O giro e as grandezas vetoriais envolvidas são responsáveis pela sua estabilidade, por isso o nome giroscópio, Figura (7).



Figura 7 – **Giroscópio**. Fonte: (TOBAR, 2016).

Um corpo que busca manter o equilíbrio pode ser utilizado para gerar dados quando deslocado. Foi com essa ideia que se desenvolveram dispositivos com o mesmo princípio, como o Módulo *GY – 521*. Como o giroscópio tem muita estabilidade, porém sua resposta é lenta, uniu-se giroscópio e acelerômetro. O acelerômetro é caracterizado pela sua resposta extremamente rápida, o tornando muito sensível a qualquer perturbação. A união de ambos gera um perfeito casamento de estabilidade e precisão, os dois possuem leitura em três eixos, totalizando seis graus de liberdade.

Para especificar a orientação de uma entidade, normalmente, podem-se fornecer como dados três parâmetros que representam os ângulos de rotação anti-horária em relação a cada um dos três eixos coordenados. Esses ângulos são chamados de ângulos de Euler (BIASI; GATTASS, 2007).

Sensores baseados no princípio físico do giroscópio fornecem a taxa de variação de ângulo, para que os dados do sensor tenham uma aplicação mais útil, na maioria dos casos, se faz necessário converter a taxa de variação angular em ângulo. Para isso é necessário rotacionar a taxa de variação de ângulo e integrar esse resultado no tempo, resultando nos ângulos de Euler.

A matriz de rotação \mathfrak{R} , apresentada na Eq. (1), é formada pelo produto das matrizes de rotação independentes R_ϕ , R_θ e R_ψ dos ângulo de Euler ϕ , θ e ψ .

$$\mathfrak{R} = R_\phi R_\theta R_\psi = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) & 0 \\ -\sin(\phi) & \cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\psi) & \sin(\psi) & 0 \\ -\sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2.2 Diodo Emissor de Luz

Com surgimento nos anos 60, o Diodo Emissor de Luz, mais conhecido como LED (*Light Emitting Diode*) é um dispositivo semicondutor baseado na eletroluminescência, o qual emite luz a partir de uma combinação de elétrons e lacunas em um material sólido (BULLOUGH, 2003; JUNIOR, 2007).

A princípio eram utilizados em componentes eletrônicos, porém o desenvolvimento de LEDs mais potentes com maior poder de luminosidade e grande variedade de cores os tornaram muito utilizados em automóveis, semáforos, indicações de emergência, aeronaves, lanternas, iluminações prediais, entre muitas outras utilidades. São considerados dispositivos de maior eficácia luminosa e longa vida útil (BULLOUGH, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 NORMAS

Neste trabalho foram estudadas e observadas as seguintes resoluções vigentes do CONTRAN:

- RESOLUÇÃO 227 de 09 de fevereiro de 2007 - Estabelece requisitos referentes aos sistemas de iluminação e sinalização de veículos;
- RESOLUÇÃO 667 de 18 de maio de 2017 - Estabelece as características e especificações técnicas dos sistemas de sinalização, iluminação e seus dispositivos aplicáveis a automóveis, camionetas, utilitários, caminhonetes, caminhões, caminhões tratores, ônibus, micro-ônibus, reboques e semirreboques, novos saídos de fábrica, nacionais ou importados e de outras providências.

Nos testes e simulações em bancada foram respeitadas todas as Normas Regulamentadoras (NR's) do Ministério de Trabalho e Previdência Social, em especial:

- NR N° 06 – Equipamento de Proteção Individual (EPI);
- NR N° 10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- NR N° 12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.

3.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO MECÂNICOS

Baseando-se nos critérios definidos e nas normas técnicas adotadas, o processo de manufatura da bancada, necessária para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, foi realizado pelos autores deste trabalho com o auxílio do corpo técnico da Universidade de Brasília (UnB), Faculdade do Gama (FGA).

A fabricação da bancada de ensaio e dos dispositivos necessários para execução dos procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Processos de Fabricação (Lab-Pro), Laboratório de Sistemas Automotivos (LSA) e no Laboratório de Engenharia e Inovação (LEI) da UnB - Gama.

A bancada foi montada em uma mesa da marca Alberflex de dimensões: 750 mm (Altura) x 800 mm (Largura) x 600 mm (Profundidade), com tampo vertical (sob a mesa) com 330 mm (Altura) x 690 mm (Largura).

Os furos feitos na bancada para fixação do pedal foram definidos com auxílio de uma fita métrica e um paquímetro Mitutoyo com guia de titânio de leitura ($150 \pm 0,05$) mm. Para execução da montagem utilizou-se uma furadeira manual Tramontina 0 – 1/2” e 500 W.

O pedal de freio escolhido para os estudos, simulações e testes foi o mesmo utilizado no Hyundai/HB20 1.0M Comfort 2016, pois tem-se o veículo disponível para eventuais consultas, medidas e testes.

Nos automóveis, o ângulo de deslocamento do pedal de freio é limitado pelo seu sistema hidráulico, responsável por acionar os componentes em cada roda. Para conhecimento desse ângulo no veículo foi utilizado um goniômetro Mitutoyo 0°-180°, com resolução de 1°.

Para especificação dos limites angulares do pedal de freio utilizado na bancada, fizeram-se as medições no próprio veículo Hyundai/HB20 1.0M Comfort 2016, de forma que os dados utilizados na bancada ficassem o mais próximo possível do valor real. Tendo determinado o ponto zero como a posição inicial (posição de repouso do pedal), verificou-se o ângulo percorrido até o limite de deslocamento, com o carro ligado e parado. Ficando estabelecido que a variação angular ($\Delta\gamma$) do pedal a ser utilizada é de 30°.

Como no veículo esse limite é determinado pela pressão do sistema, na bancada foi necessário fazer adaptações para que o pedal se comporte de forma semelhante. Assim, uma mola foi adicionada ao pedal de freio, simulando a resistência no sistema, à medida que o pedal é solicitado.

A mola de aço utilizada foi uma de tração, helicoidal, circular, com um gancho em V alinhado e outro gancho em U pequeno deslocado, ambos paralelos, como o exemplo da Figura (8).



Figura 8 – **Mola de Tração Helicoidal** (MOLAS&CIA, 2017).

O suporte para fixação da mola adicional do pedal foi feito com a união de uma cantoneira 1/2”x1/2”, com comprimento de 50 mm, furada na extremidade e uma rosca de parafuso através do processo de soldagem *Metal Inert Gas* (MIG).

Essa peça soldada foi fixada a 90° no eixo do pedal de forma que a mola, presa em sua extremidade, fique alinhada, como mostra a Figura (9), apresentando um melhor desempenho em sua função.

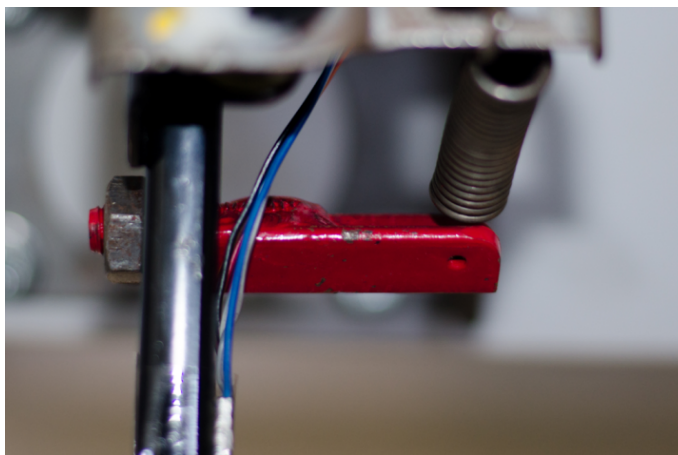


Figura 9 – **Suporte para fixação da mola, em vermelho.** Autoria Própria.

Um fim de curso mecânico também foi colocado determinando o limite de variação angular do freio, acima estabelecido 30° . Foi usinado um pino de aço e adaptado na estrutura do pedal de forma que quando solicitado, este pino limite seu deslocamento.

Na realização dos testes foram observadas as normas locais do laboratório, bem como as normas já citadas.

3.3 DISPOSITIVOS E CIRCUITOS ELETRÔNICOS

3.3.1 Arduino e Sensor GY-521

Utilizou-se a plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre Arduino, Figura (10), pois trata-se de uma ambiente de desenvolvimento de fácil utilização, executável no *Windows*, *Macintosh* e *Linux*, é *open source* com *downloads* gratuitos e disponibilizados pelo próprio Arduino, que também disponibiliza métodos de aprendizagem, excelente custo-benefício, pois seu valor de aquisição é baixo e a variedade de utilizações em projetos é imensa.

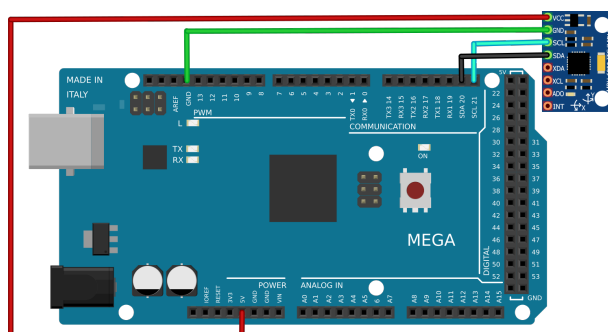


Figura 10 – **Esquemático de ligação do módulo GY – 521 no Arduino Mega 2560.** Autoria Própria.

A plataforma de prototipagem eletrônica utilizada no desenvolvimento deste trabalho foi o Arduino *MEGA* – 2560 em conjunto com o módulo *GY* – 521 que possui em uma mesma placa um acelerômetro e um giroscópio de alta precisão, sendo controlado pelo CI *MPU6050*.

Na Figura (10), desenvolvida no *software Fritzing*, tem-se o esquemático de ligação entre o arduino e o módulo utilizado.

Para adaptação e fixação segura do arduino na bancada foi impresso um pequeno suporte, Figura (11), em uma impressora 3D disponível no Laboratório de Processos de Fabricação - LabPro. Método de tecnologia de fabricação aditiva muito utilizado, onde a partir de um modelo digital tridimensional depositam-se subsequentes camadas de material até formar a peça ou protótipo desejado.

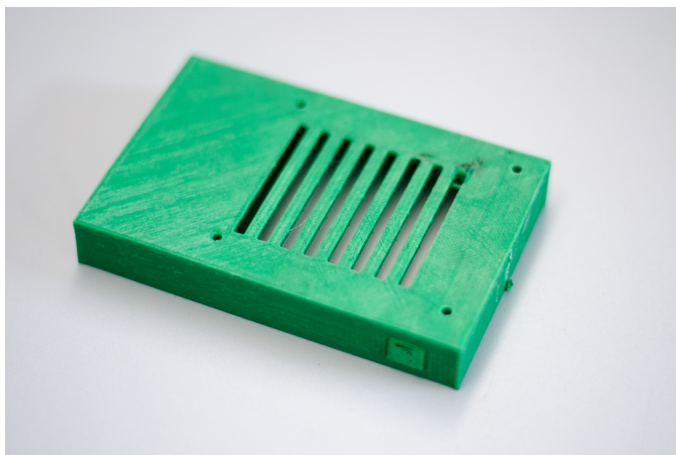


Figura 11 – **Suporte para arduino, feito em impressora 3D.** Autoria Própria.

A lógica necessária para implementação que visa o objetivo deste trabalho tem seu acionamento no momento que o pedal de freio do veículo sai da posição inicial, então adotou-se essa condição como um análogo elétrico de um botão normalmente aberto (NA), ou seja, quando o pedal for acionado ele irá liberar a lógica/circuito para as etapas subsequentes. O acionamento dos LEDs dar-se-á por lógicas incrementais variando o ângulo γ entre 0° e 30° , conforme metodologia exposta abaixo:

- Condição inicial *SO* (pedal não acionado), nenhum LED aceso;
- Condição C1 ($0^\circ < \gamma \leq 5^\circ$), aciona o 1º LED;
- Condição C2 ($5^\circ < \gamma \leq 10^\circ$), aciona o 1º e o 2º LED;
- Condição C3 ($10^\circ < \gamma \leq 15^\circ$), aciona o 1º, 2º e 3º LED;
- Condição C4 ($15^\circ < \gamma \leq 20^\circ$), aciona o 1º, 2º, 3º e 4º LED;
- Condição C5 ($20^\circ < \gamma \leq 25^\circ$), aciona o 1º, 2º, 3º, 4º e 5º LED;
- Condição C6 ($25^\circ < \gamma \leq 30^\circ$), aciona o 1º, 2º, 3º, 4º, 5º e 6º LED;

A Figura (12), desenvolvida no *software Fritzing*, representa a lógica de acionamento dos LEDs por analogia de circuitos elétricos.

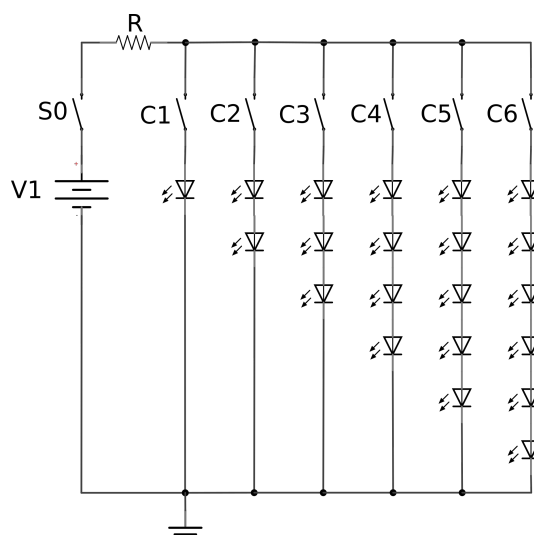


Figura 12 – **Circuito Elétrico.** Representação via circuito elétrico da lógica de acionamento dos LEDs com 6 condições incrementais (C1, C2, C3, C4, C5, C6) e condição inicial dada pelo pedal de freio (S0). Autoria Própria.

O método exposto e exemplificado nessa seção, fornece subsídios necessários e suficientes para implementação da mesma lógica com incrementos diferentes, podendo utilizar mais ou menos dispositivos luminosos.

3.3.2 Painel de LEDs

Neste trabalho os LEDs tem importante atuação, pois são eles os responsáveis por transmitir as informações obtidas. Para uma melhor visualização do sistema proposto, neste trabalho optou-se por utilizar uma sequência de acionamento com o total de 18 LEDs.

Na usinagem do painel de LEDs, Figura (13), utilizou-se uma *Brake Light* universal da marca DNI, porém utilizou-se apenas sua carcaça (adaptada) e os LEDs, o circuito foi inteiramente refeito pelo fato de as ligações anteriores acenderem todos os LEDs simultaneamente.



Figura 13 – **Painel de LEDs fixado à bancada.** Autoria Própria.

A simulação de diferentes velocidades do veículo se faz necessária porque, de acordo com a velocidade que o mesmo se encontra, notam-se diferentes comportamentos durante a frenagem. Enquanto o veículo se move a 10 km/h a solicitação do pedal de freio para que o automóvel pare é diferente do mesmo se movendo a 100 km/h. Sendo assim, este trabalho faz suposições arbitrárias de forma que fique clara essa correlação com a velocidade, porém a intensidade de frenagem aqui utilizada para cada velocidade é meramente didática e ilustrativa, não podendo afirmar tecnicamente os valores utilizados.

A lógica utilizada está apresentada abaixo, o ângulo do pedal mencionado é aquele em que todos os LEDs já se encontram acesos. Desta forma, quando o veículo transita em baixa velocidade os LEDs acendem mais rapidamente, sem que o pedal seja solicitado até o fim do seu curso.

- $(0 \leq Velocidade \leq 5) \text{ km/h} \Rightarrow 1^\circ$;
- $(5 < Velocidade \leq 10) \text{ km/h} \Rightarrow 5^\circ$;
- $(10 < Velocidade \leq 30) \text{ km/h} \Rightarrow 20^\circ$;
- $(30 < Velocidade \leq 50) \text{ km/h} \Rightarrow 22^\circ$;
- $(50 < Velocidade \leq 70) \text{ km/h} \Rightarrow 24^\circ$;
- $(70 < Velocidade \leq 90) \text{ km/h} \Rightarrow 26^\circ$;
- $Velocidade > 90 \text{ km/h} \Rightarrow 30^\circ$;

3.3.3 Monitor LCD

Para visualizar as velocidades simuladas foi utilizada uma tela LCD 16 x 2 na qual se pode selecionar velocidades de 0 a 110 km/h e observar os distintos comportamentos do sistema proposto. O display LCD 16 x 2, Figura (14), conta com um módulo I2C integrado, tela de fundo azul e exibição de até 16 caracteres por linha. São 16 colunas e 2 linhas, sendo especialmente indicado para projetos com microcontroladores, como por exemplo o Arduino. Para ajuste e variação da velocidade, foi conectado ao display um potenciômetro de 10 K.

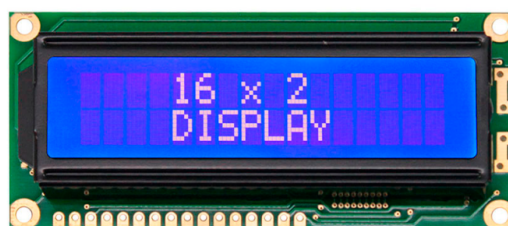


Figura 14 – **Monitor LCD.** Display Cristal Líquido com Módulo I2C, 16 colunas e 2 linhas. Adaptada de (WINSTAR, 2015).

3.3.4 Procedimento de calibração do sensor

Antes de implementar o sensor no pedal de frenagem, se fez necessário verificar se os valores fornecidos pelo sensor coincidem com um padrão de medição aceitável. Com este intuito utilizou-se um Goniômetro com capacidade de leitura angular entre 0° e 180° , graduação de 1° e erro associado de $\pm 0,5^\circ$. Para garantir o alinhamento utilizou-se um nível de bolha, e posteriormente o sensor foi fixado alinhado com a haste do Goniômetro. A Figura (15) expõe de forma ilustrativa a configuração experimental adotada.

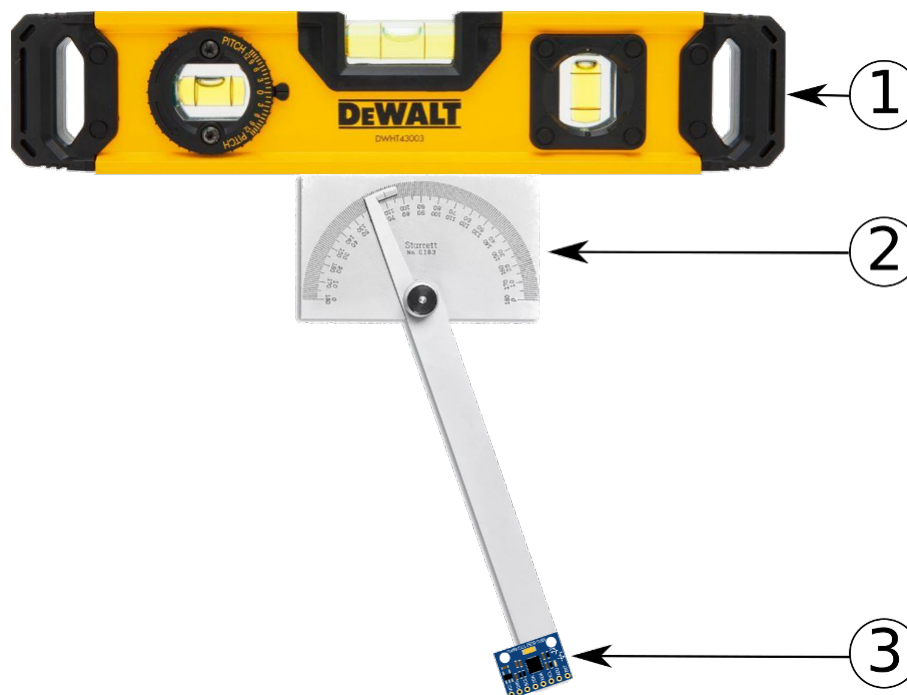


Figura 15 – **Representação da fixação do sensor ao Goniômetro.** Configuração para verificação da resposta angular e possível ajuste do sensor. Em (1) é representado o nível de bolha, em (2) o Goniômetro e em (3) o sensor utilizado. Autoria Própria.

Utilizando os materiais descritos na Figura (15) foi realizada a calibração do sensor por medição da variação angular entre 0° e 50° , pois este intervalo do ângulo γ garante uma boa calibração e atende os objetivos deste trabalho.

Realizou-se um conjunto de 10 medições antes da calibração e outro conjunto de 10 medições após a calibração.

A variação angular entre 0° e 50° foi realizada com incremento de 2° . Os resultados apresentados são os valores médios das medições realizadas, o erro máximo associado foi de $\pm 0,2\%$.

A seguir, os dados sem calibração apresentam os resultados iniciais da medição angular do giroscópio. Foi realizado ajuste de curva dos dados sem calibração utilizando um polinômio de primeiro grau no método dos mínimos quadrados. A comparação entre os dados sem calibração e com calibração é apresentada na Figura (16).

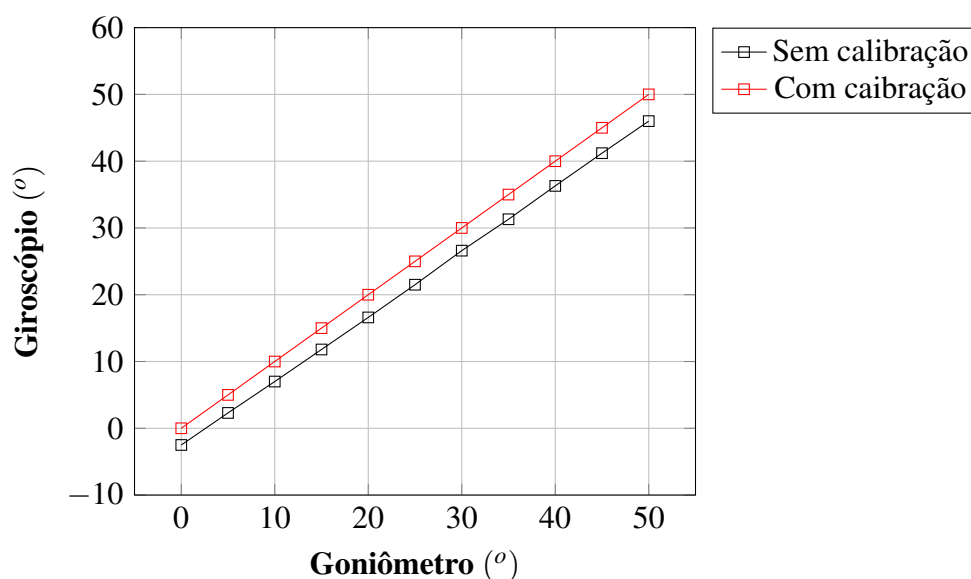


Figura 16 – **Calibração angular do sensor MPU 6050**. Resultados da leitura do sensor com Giroscópio antes e após a calibração com medidas angulares avaliadas na rotação em torno do eixo “z”. Autoria Própria.

Após o procedimento de calibração, o módulo *GY – 521* foi fixado de forma alinhada com o pedal de acionamento do sistema mecânico de frenagem automotiva.

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para testar e utilizar o sistema desenvolvido deve-se seguir os seguintes passos:

1. Sentar-se e ajustar a distância e a altura da cadeira em relação à bancada para uma situação de uso confortável e eficaz;
2. Ligar a bancada no botão *on-off* localizado na parte de cima do compartimento com LCD;
3. Simular uma velocidade escolhendo o valor no display posicionado à frente;
4. Acionar o pedal de freio com o pé direito simulando diferentes intensidades e velocidades de solicitação, verificando as respostas do sistema proposto;
5. Ajustar uma nova velocidade girando o potenciômetro posicionado ao lado do LCD;
6. Acionar novamente o pedal de freio com o pé direito simulando diferentes intensidades e velocidades de solicitação, verificando as respostas do sistema proposto;
7. Observar a variação dos LEDs e os diferentes comportamentos do sistema com as alterações de velocidade;
8. Ao finalizar os testes, deligar a bancada.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 AJUSTES INICIAIS

Durante os testes foi detectado que o fim de curso mecânico acrescentado ao pedal na posição máxima de 30° sofreu uma deformação devido ao material adotado, pino de aço SAE 1020. Com intuito de sanar tal problema foi usinado um pino de aço SAE 4340 e realizado tratamento térmico seguido de revenimento. Este aço é um material ligado que possui elevada resistência mecânica após seu tratamento térmico e é muito utilizado na indústria automotiva em geral, principalmente em aplicações em eixos rotativos.

Verificou-se também a possibilidade de uma geração de dados equivocados enquanto o veículo se encontrasse em qualquer desnível. Subidas ou descidas poderiam alterar o valor do ângulo fornecido pelo módulo sensor *GY – 521*. Portanto, o código foi reajustado de forma que independente da inclinação em que o veículo se encontra, o acionamento do pedal de freio faz com que o sensor receba aquele ângulo como inicial, sanando o problema discutido.

4.2 RESULTADOS

Com o alto índice de colisão traseira e seus inúmeros possíveis fatores, foi proposto um sistema luminoso para informar a intensidade de frenagem de um veículo, podendo auxiliar na redução do índice em questão. Com o intuito de não apenas evitar colisões, mas sim manter os condutores informados até mesmo sobre as mais simples ações de frenagem, o sistema foi desenvolvido.

Na montagem da bancada, o pedal foi parafusado no tampo vertical sob a mesa, Figura (17), distando 150 mm do solo, e deslocado à direita 65 mm do centro, aproximando-se das medidas originais do veículo. Assim, sua utilização tornou-se bastante confortável e intuitiva.

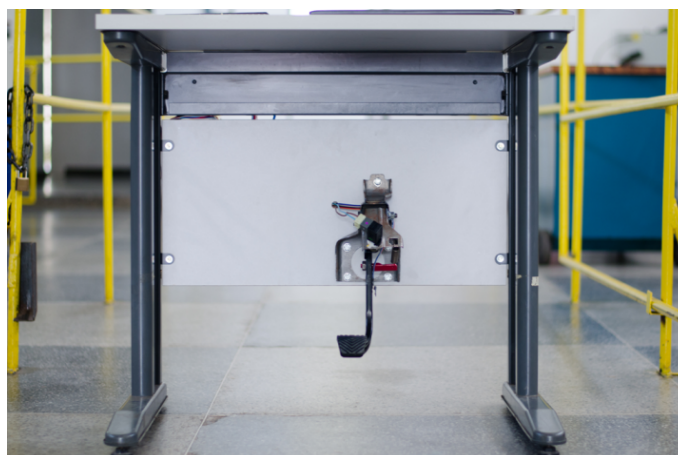


Figura 17 – Tampo vertical da bancada com pedal de freio montado. Autoria Própria.

Durante a integração do sistema automotivo ao eletrônico na bancada utilizou-se o sensor de acionamento original do sistema de freio do veículo, Figura (18), sendo este fundamental no reconhecimento do deslocamento do pedal, iniciando assim, o funcionamento de todo sistema luminoso de frenagem.

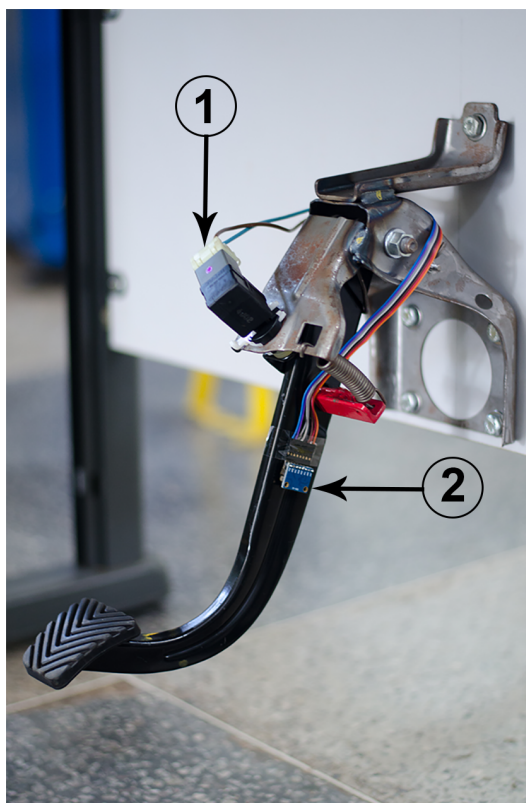


Figura 18 – **Pedal de Freio com sensores.** A imagem mostra o pedal de freio já ligado aos dois sensores mencionados. Em (1) sensor de acionamento original do sistema de freio do veículo. Em (2) sensor Módulo GY – 521, Chip MPU6050. Autoria Própria.

O CI MPU6050 com Módulo GY – 521 foi acoplado ao pedal de freio, também apresentado na Figura (18), de forma que quando o sensor de acionamento detecta o deslocamento do pedal, o módulo começa a leitura e emissão dos dados angulares para o arduino que processa as informações de deslocamento, une às informações de velocidade e fornece sinais luminosos proporcionais à frenagem.

No processo de testes e desenvolvimento fez-se necessária a utilização de uma *protoboard*, placa com pequenos orifícios condutores, bastante conhecida por fornecer grande praticidade em testes eletroeletrônicos devido à sua facilidade de inserção e alteração dos componentes, além de possuir baixo custo. Após efetuar os testes e realizar todos os ajustes necessários do código confeccionou-se a placa de LEDs, utilizando a *protoboard* apenas como auxiliar para entrada do sensor de deslocamento do pedal e alguns resistores necessários.

Na Figura (19), pode-se notar parte do sistema eletrônico que foi fixado na parte de trás da bancada.

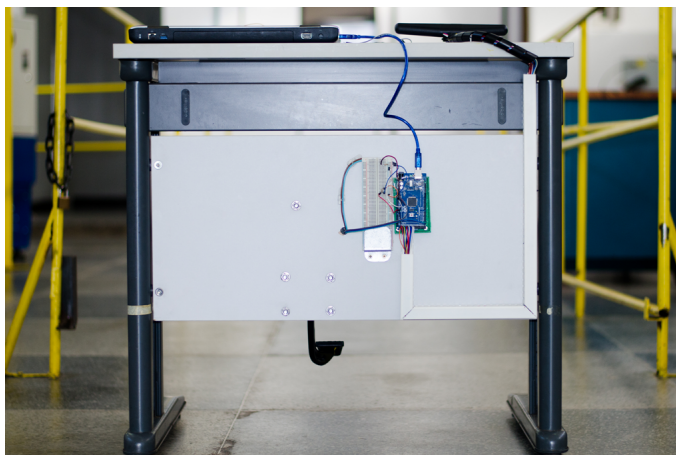


Figura 19 – **Sistema eletrônico na bancada.** O sistema eletrônico foi fixado na parte de trás da bancada, em cima se encontram apenas o painel de LEDs, o dispositivo de simulação de velocidade e uma fonte de energia. Autoria Própria.

Desenvolvendo uma bancada mais interativa foi colocado um display LCD apresentando as velocidades escolhidas no momento de acionamento do pedal, Figura (20). A velocidade pode ser selecionada através de um potenciômetro posicionado ao lado do display. A simulação de velocidades pode variar de 0 km/h a 110 km/h, velocidade máxima permitida em algumas vias brasileiras.

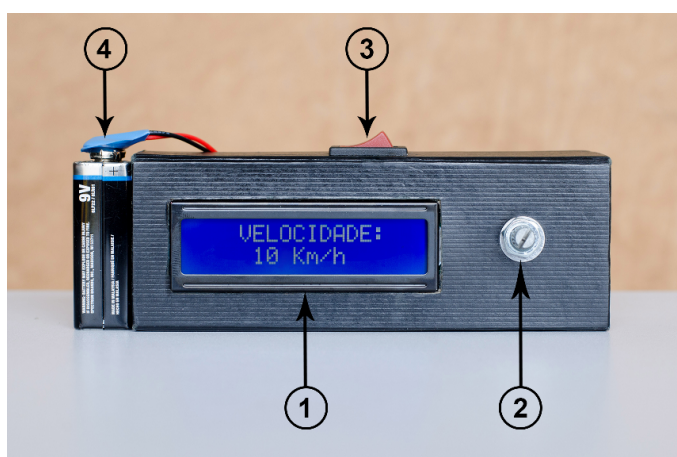


Figura 20 – **Compartimento desenvolvido para seleção de diferentes velocidades.** A imagem mostra o compartimento desenvolvido para acoplar tela LCD e o regulador de velocidade utilizada durante acionamento do pedal. Em (1) tela LCD, em (2) potenciômetro utilizado para selecionar a velocidade simulada, em (3) botão *on-off* do sistema desenvolvido, em (4) fonte 9 V utilizada para alimentação da bancada. Autoria Própria.

Como fontes de alimentação da bancada foram desenvolvidos dois métodos. Uma fonte reguladora de tensão foi fabricada a fim de, alimentada por uma rede elétrica 220 V, transforme a tensão em uma faixa de 6 V a 12 V, alimentação de entrada recomendada pelo arduino utilizado. O segundo método baseia-se na disponibilidade de um regulador próprio existente no arduino, o qual recebe uma faixa de tensão de até 20 V e a regula para seu uso adequado, cerca de 5 V.

Para tanto fez-se uma conexão simples com uma bateria de 9 V, e um botão *on-off* foi colocado, como pôde ser visto na Figura (20).

O segundo método se tornou o mais utilizado pela facilidade de conexão e independência de uma rede elétrica próxima. O primeiro fica à disposição para eventuais necessidades, como a falta de uma bateria disponível.

Vale lembrar que, nos veículos, uma bateria de 12 V é encarregada de alimentar diversos equipamentos elétricos como faróis, vidros, lanternas, rádio, entre outros. Quando o carro é ligado o alternador é responsável por gerar essa energia e manter a bateria recarregada. Portanto, o sistema aqui projetado e desenvolvido pode ser facilmente energizado nos automóveis.

Para verificar a resposta do sistema luminoso e sua correlação com a velocidade, foram efetuados testes deslocando o pedal de freio com simulação de diferentes velocidades e verificando a partir de que ângulo todos os LEDs se encontravam acesos, para assim testar a lógica proposta.

Foram efetuadas pelo menos 20 medições para cada velocidade variando de 10 em 10 km/h e foram feitos os cálculos de desvio-padrão dos valores obtidos. Observando o gráfico apresentado na Figura (21), notam-se os baixos valores de desvio-padrão o que indica que os dados estão próximos da média, demonstrando a baixa dispersão e a confiabilidade do sistema desenvolvido.

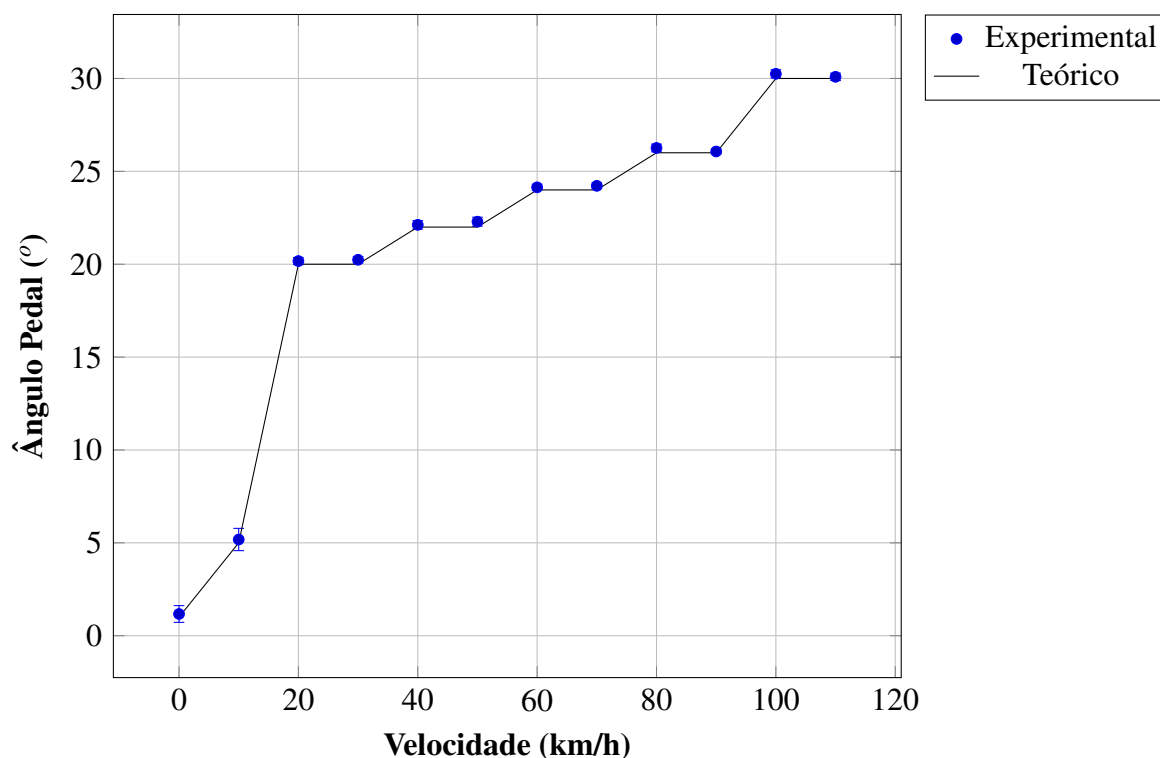


Figura 21 – **Ensaio de correlação entre velocidades simuladas e posição angular do pedal de freio.** Relação de ângulos médios e seus respectivos desvios padrões com relação a cada velocidade selecionada. Os ângulos obtidos são do momento em que todos os LEDs se encontram acesos. Autoria Própria

Não se pôde deixar de notar a resposta rápida e eficiente do sistema desenvolvido. Como se tinha por objetivo, o sistema informa as ações de frenagem, as luzes se acendem e apagam gradativamente à medida que o sistema de freio é solicitado, desta forma, é possível fornecer informações mais detalhadas aos condutores, suprimindo situações em que não necessariamente ocorram frenagens bruscas. A bancada completa pode ser vista abaixo, na Figura (22).



Figura 22 – **Bancada Completa.** Bancada finalizada com pedal de freio, circuito eletrônico, painel de LEDs, fonte de alimentação e dispositivo de simulação de velocidades. Autoria Própria.

Grande parte dos resultados positivos deste trabalho certamente se deve à escolha do CI MPU 6050 com Módulo *GY – 521* que forneceu muito boa acurácia e estabilidade, unindo giroscópio e acelerômetro, um combinado de sensibilidade e controle.

Mediante os resultados apresentados neste Trabalho de Conclusão de Curso, a hipótese inicial foi confirmada.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido apresentou bons resultados, os dados encontrados mostraram eficiência nas respostas luminosas referentes à intensidade de frenagem veicular. A hipótese foi confirmada e os objetivos iniciais alcançados.

De acordo com os resultados obtidos e conhecimentos adquiridos ao longo deste trabalho podem-se apontar alguns pontos conclusivos:

1. O inédito sistema luminoso automotivo indicativo de intensidade de frenagem foi desenvolvido a partir da construção de uma bancada multidisciplinar integrada de simulação na qual integraram-se sistema de freio, velocidade veicular e sistema eletro-eletrônico;
2. O sistema desenvolvido apresentou características fundamentais como respostas rápidas às solicitações do pedal de freio, além de coerência e baixo desvio-padrão em sua correlação ângulo do pedal e velocidade do veículo;
3. O sistema proposto, de fato, não interfere nas demais aplicações luminosas dos automóveis, não substitui nenhum componente atualmente utilizado e não prejudica nenhum sistema em funcionamento. Possui um conjunto compacto e independente e pode ser utilizado conectado à fonte de energia já disponível no automóvel, bateria 12 V;
4. A metodologia utilizada com base no sensor *GY – 521* e a plataforma de prototipagem Arduino possibilitou a leitura rápida e dinâmica dos dados gerados, facilitando a aquisição de dados e calibração do sistema;
5. O painel luminoso desenvolvido apresenta, acendendo e apagando sequencial e gradativamente, informações do quanto o veículo está reduzindo a velocidade, informando assim aos demais indivíduos sobre as ações de frenagem. Podendo, desta forma, contribuir na redução do alto índice de colisões traseiras.

O fato de informar melhor as pessoas e lhes dar a oportunidade de evitar um possível acidente remete a importância de se aprofundar em estudos como este que busca a segurança veicular, a segurança do ser humano. Muito se tem estudado sobre o assunto, pesquisas e melhoramentos surgem a cada dia. Já se fala na possibilidade de se conectar os veículos numa grande rede de comunicação onde as colisões podem ser antecipadamente detectadas e evitadas, evoluções que estão por vir. Mas, como bem se sabe, muito pode ser feito até que a tecnologia alcance tal magnitude, e mais, até que a tecnologia envolva o Brasil como um todo, este país que tanto sofre com o alto índice de colisões traseiras e diversas outras formas de acidentes.

Há uma grande contribuição neste trabalho que apresenta uma forma relativamente simples, com baixo custo, de fácil fabricação e implementação e que pode auxiliar na redução do

índice em questão. O ramo automotivo está constantemente em busca de melhorias, as altas potências de alguns motores já produzidos requerem um cuidado especial com o comportamento e segurança do veículo como um todo.

Como trabalhos futuros sugere-se adaptar o sistema desenvolvido ao veículo, e assim, efetuar testes necessários para iniciar o processo de validação. Para isso, será necessário verificar tecnicamente o comportamento de frenagem do veículo em relação à sua velocidade para as informações luminosas ficarem mais precisas possível. Outra sugestão de trabalho se resume em explorar mais o segundo componente do sensor *GY – 521*, o acelerômetro. Existe a possibilidade de utilizá-lo para obter a aceleração com que o pedal de freio é solicitado, e assim, informar de forma diferenciada situações de emergência. Dada certa aceleração o sistema pode acender luzes, como o pisca-alerta, informando uma frenagem brusca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYERISCHE MOTOREN WERKE (BMW). *DYNAMIC BRAKE LIGHT*.: Safety. Germany, 2017. 1 p. Disponível em: http://www.bmw-motorrad.com/com/en/index.html?content=http://www.bmw-motorrad.com/com/en/technology_detail/safety/item_dynamic_brake_light.html. Citado na página 3. Citado 1 vez nas páginas 3.

BIASI, S. C. de; GATTASS, M. Utilização de quatérnios para representação de rotações em 3-d. *Relatório técnico, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Disponível em: http://www.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass*, 2007. Citado na página 13. Citado 1 vez nas páginas 13.

BOSCH, R. *Automotive handbook*. [S.l.]: Robert Bosch, 2014. Citado na página 8. Citado 1 vez nas páginas 8.

BULLOUGH, J. D. Lighting answers: Led lighting systems. *National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center*, v. 7, n. 3, 2003. Citado na página 14. Citado 1 vez nas páginas 14.

BYORC. *Car Suspension Basics, How-To & Design Tips*. [S.l.], 2017. Citado na página 10. Citado 1 vez nas páginas 10.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. *RESOLUÇÃO Nº 227*: Estabelece requisitos referentes aos sistemas de iluminação e sinalização de veículos. Brasília, 2007. 250 p. Citado na página 1. Citado 1 vez nas páginas 1.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. *RESOLUÇÃO Nº 380*: Dispõe sobre a obrigatoriedade do uso do sistema antitravamento das rodas – abs. Brasília, 2011. 3 p. Citado na página 11. Citado 1 vez nas páginas 11.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. *RESOLUÇÃO Nº 667*: Estabelece as características e especificações técnicas dos sistemas de sinalização, iluminação e seus dispositivos aplicáveis a automóveis, camionetas, utilitários, caminhonetes, caminhões, caminhões tratores, ônibus, micro-ônibus, reboques e semirreboques, novos saídos de fábrica, nacionais ou importados e da outras providências. Brasília, 2017. 5 p. Citado na página 1. Citado 1 vez nas páginas 1.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Estatísticas de Acidentes - Acidentes de Trânsito no Brasil*. Brasília, 2016. 1 p. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes/estatisticas-de-acidentes>. Citado na página 1. Citado 1 vez nas páginas 1.

DIAS, A. *Funcionamento e Detalhes do Sistema de Freio a Disco*. [S.l.], 2016. Citado na página 11. Citado 1 vez nas páginas 11.

DIULGHEROGLO, P. Fundamentos de freios e seus componentes. *Apostila do curso SAE*. São Paulo, 2008. Citado na página 10. Citado 1 vez nas páginas 10.

DURALAST. *Power Brake Exchange Brake Power Booster*. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.autozone.com/brakes-and-traction-control/brake-power-booster/>

power-brake-exchange-brake-power-booster/840353_0?_requestid=2091461). Citado na página 9. Citado 1 vezes nas páginas 9.

FUJII, Y. et al. Application of dynamic band brake model for enhanced drivetrain simulation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 216, n. 11, p. 873–881, 2002. Citado na página 7. Citado 1 vezes nas páginas 7.

HALDERMAN, J. D.; MITCHELL, C. D. *Automotive brake systems*. [S.l.]: Prentice Hall, 2016. Citado na página 11. Citado 1 vezes nas páginas 11.

HOHMANN, C. et al. Contact analysis for drum brakes and disk brakes using adina. *Computers & structures*, Elsevier, v. 72, n. 1, p. 185–198, 1999. Citado na página 10. Citado 1 vezes nas páginas 10.

JUNIOR, E. S. Estudo de novas estruturas de reatores eletrônicos para leds de iluminação. *Projeto de Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis*, 2007. Citado na página 14. Citado 1 vezes nas páginas 14.

KHULSEY. *Car Suspension Basics, How-To & Design Tips*. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://www.khulsey.com/portfolioimages/car-disk-brake.jpg>. Citado na página 11. Citado 1 vezes nas páginas 11.

LIMPERT, R. *Brake design and safety*. [S.l.: s.n.], 1992. v. 120. Citado na página 8. Citado 1 vezes nas páginas 8.

MOLAS&CIA. Molas helicoidal de tração. *Molas e Cia*, MOLAS&CIA, 2017. Disponível em: <http://www.molasecia.com.br>. Citado na página 16. Citado 1 vezes nas páginas 16.

PEIXOTO, T. M. et al. Sistemas embarcados: explore sua criatividade construindo hardware e software. Citado na página 12. Citado 1 vezes nas páginas 12.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. *Estatísticas de Acidentes*: Relatório. Brasília, 2015. 5 p. Disponível em: <https://www.prp.gov.br/portal/arquivos/Relatorio2010a2014.pdf/view>. Citado na página 1. Citado 1 vezes nas páginas 1.

SANTOS, R. H. C. d. Transporte público e possibilidades turísticas: a potencialidade de madeira, um bairro multicultural. Niterói, 2017. Citado na página 1. Citado 1 vezes nas páginas 1.

STEG, L.; GIFFORD, R. Sustainable transport and quality of life. In: *Building Blocks for Sustainable Transport: Obstacles, Trends, Solutions*. [S.l.]: Emerald Group Publishing Limited, 2007. p. 183–202. Citado na página 1. Citado 1 vezes nas páginas 1.

TOBAR. *GYROSCOPE*. [S.l.], 2016. Citado na página 13. Citado 1 vezes nas páginas 13.

TORRE, F. D. L. *Sistemas de transporte turístico*. [S.l.]: Roca, 2002. Citado na página 1. Citado 1 vezes nas páginas 1.

VIEIRA, H. et al. Avaliação de medidas de contenção de acidentes: uma abordagem multidisciplinar. Florianópolis, SC, 1999. Citado na página 1. Citado 1 vezes nas páginas 1.

VIEIRA, J. L. *A história do automóvel: a evolução da mobilidade*. [S.l.]: Alaúde, 2009. Citado na página 1, 6 e 7. Citado 3 vezes nas páginas 1, 6 e 7.

WILWOOD. *Breake pedal and balance bar instructions guide*. [S.l.], 2014. Citado na página 8. Citado 1 vezes nas páginas 8.

WILWOOD. *Master Cylinders: Combination Remote Master Cylinder*. [S.l.], 2016. Citado na página 9. Citado 1 vezes nas páginas 9.

WINSTAR. *16x2 Character Medium / Small LCD Module*. [S.l.], 2015. Citado na página 20. Citado 1 vezes nas páginas 20.